

IPCC AR5全球气候模式对1996-2005年中国 气温模拟精度评价

孙 侦^{1,2}, 贾绍凤^{1*}, 吕爱锋¹, 朱文彬^{1,2}, 高彦春¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 中国科学院陆地水循环及地表过程重点实验室,
北京 100101; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要: 本文利用中国 660 个站点逐日地面温度资料, 评估了参与政府间气候变化专门委员会第五次报告(IPCC AR5)的 9 个全球气候模式(Global Climate Models, GCMs)及多模式集合(Multi-Model Ensemble, MME)对中国地区气温的模拟精度。结果表明: 9 个 IPCC AR5 全球气候模式和 MME 模拟的中国地区 1996-2005 年日平均气温与气象站点观测值的相关系数都大于 0.86, 表明相关性较好; 气候模式模拟的中国东南部地区 1996-2005 年日平均气温的模拟精度较高, 模拟值的偏差、平均相对误差、平均绝对误差和均方根误差都较小; 而西部地区的模拟效果较差, 模拟精度较低。综合考虑模式模拟值与站点观测值的相关系数、偏差、平均相对误差、平均绝对误差和均方根误差发现, MME 在中国地区的气温模拟精度优于大部分单个模式。

关 键 词: IPCC AR5; 全球气候模式; 气温; 精度; 日尺度

1 引言

政府间气候变化专门委员会第五次报告(the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC AR5, 2013) 指出“1983-2012 年可能是过去 1400 年中最暖的 30 年, 全球气候系统在未来仍将继续变暖”, 全球气候变暖的结论代表了当前国际科学界对气候变化认识的主流观点(IPCC, 2007, 2013; 沈永平等, 2013; 王绍武等, 2013; 秦大河等, 2014)。IPCC 报告中关于气候变化的很多结论都是基于气候模式的模拟结果。气候模式是目前进行气候模拟和未来气候预估的主要工具, 其模拟结果已经广泛应用于农业、环境和生态等多个领域, 用于研究气候变化对相关领域的影响和环境对其的适应对策(Verburg et al, 2002; Parry et al, 2004; Fowler et al, 2007; Challinor et al, 2009; Jacob et al, 2009; 杨绚等, 2014)。但由于

气候系统的复杂性, 全球气候模式对气候系统中存在的各种物理、化学和生物过程及其相互属性的模拟能力存在一定不足和局限性, 因此, 有必要对模式输出结果的精度进行定量评价。

全球气候模式在中国地区的气温模拟结果是否可靠? 以往的研究(赵宗慈, 1990; 赵宗慈等, 1995; 王淑瑜等, 2004; Zhou et al, 2006; 许崇海等, 2007; 刘敏等, 2009)主要基于 IPCC AR5 之前的模拟结果, 研究表明, 全球气候模式对中国地区气温具有一定的模拟能力, 但是模拟能力仍比较有限, 还需要进一步改进。IPCC AR5 的“耦合模式比较计划 (Coupled Model Intercomparison Project, CMIP5)”研发的气候系统模式具有更高的空间分辨率, 而且对动力框架和物理过程有更好的表述, 模式的可信度较 CMIP4 有了全面的提高(巢清尘等, 2014), 其模拟结果代表了当前气候模拟的国际最高水平(黄传江等, 2014)。

收稿日期: 2015-03; 修订日期: 2015-05。

基金项目: 国家自然科学基金项目(41471463)。

作者简介: 孙侦(1985-), 女, 河北邯郸人, 博士研究生, 主要从事水文水资源研究, E-mail: 040400126@163.com。

通讯作者: 贾绍凤(1964-), 男, 湖南龙山人, 研究员, 主要从事水文水资源研究, E-mail: jiasf@igsrr.ac.cn。

引用格式: 孙侦, 贾绍凤, 吕爱锋, 等. 2015. IPCC AR5 全球气候模式对 1996-2005 年中国气温模拟精度评价[J]. 地理科学进展, 34(10): 1229-1240. [Sun Z, Jia S F, Lv A F, et al. 2015. Assessment on precision of temperature simulated by the IPCC AR5 GCMs in China, 1996-2005 [J]. Progress in Geography, 34(10): 1229-1240.]. DOI: 10.18306/dlkxjz.2015.10.003

关于新一代CMIP5全球气候模式对中国地区气温模拟能力的评估已经有了一些初步结论,如姚遥等(2012)利用CMIP5提供的日尺度数据,评估了CMIP5模式对中国极端气温的模拟,研究发现CMIP5模式对中国极端气温指数和20年一遇最高(低)气温有一定的模拟能力;郭彦等(2013)评估25个CMIP5模式对1906-2005年中国年平均气温变化的模拟能力,并与CMIP3模式对比,CMIP5模式的模拟效果较CMIP3模式有所提高;李振朝等(2013)对IPCC AR5中8个模式模拟的北半球及青藏高原月度和年尺度的气温进行了检验,结果表明,各模式对北半球气温年变化的模拟较好,一般7、8月气温最高,1月气温最低,不存在相位差问题;黄传江等(2014)分析了32个CMIP5模式对中国南海历史海表温度(SST)的模拟能力,发现大部分模式都能较好地模拟出南海20世纪历史SST的基本特征和变化规律,但也有部分模式的模拟存在较大偏差;冯靖(2012)指出各模式对中国区域平均气温有较好的模拟能力,体现在能很好地反映平均气温场的空间分布、年际变化和增暖趋势特征。

上述研究对评估CMIP5全球气候模式在中国地区的模拟能力作了大量工作,但是关于气候模式模拟的逐日多年平均气温模拟效果的评价还未见报道,为了回答IPCC AR5全球气候模式模拟的逐日多年平均气温在中国地区的精度如何,在哪些地区的模拟精度更高,哪个模式的模拟效果较好等问题本文利用全国660个站点1996-2005年逐日地面温度观测资料,对CMIP5提供的9个新一代全球模式的1996-2005年逐日平均气温模拟结果进行了精度评估。1996-2005年逐日平均气温,是指每一年相同天数(Day of Year)气温的平均值,不考虑闰年,均按照365天统计计算,体现了多年年内逐日气温变化的平均态,即年内日温变化趋势,是一个统计量。因此,对逐日多年平均气温进行评估,并不是天气尺度上的评估。

逐日多年平均气温在农业气象学中是一个重要的指数。气候因子的日变化对作物生长发育有很大的影响(中国农业科学院,1999;胡亚南等,2013),例如年极端最低气温、0~3℃天数、0~7℃天数以及0~12℃天数等都是影响冬小麦生长发育的重要日温因子(中国农林作物气候区划协作组,1987;金之庆等,1994;姜会飞,2008);五基点温度指标和农业界限温度都是用日平均气温表示(姜会飞,

2008)。因此,逐日多年平均气温对于作物生育期、作物种植界线、作物适宜生长区划以及作物品种分布研究具有重要意义。本文探讨新一代全球气候模式对中国区域逐日多年平均气温的模拟能力,可为未来中国农作物物候、种植界线以及种植制度等气候变化影响研究选择合适的气候背景场提供重要依据。

2 数据与方法

2.1 数据来源

本文利用IPCC数据中心(<http://www.ipcc-data.org/index.html>)2014年最新发布的9个新一代全球气候模式在历史背景下(Historical)的1996-2005年逐日气温资料,与同时段全国660个站点观测资料(从中国气象科学数据共享服务网<http://cdc.cma.gov.cn/home.do>下载)进行对比分析,评估IPCC AR5全球气候模式对中国地区气温的模拟能力。9个全球气候系统模式的基本信息如表1所示。研究区范围为:3.85°~53.55°N、73.55°~135.08°E,需从全球气候模式的数据集中读取研究区范围内的气温数据。由于各个模式的空间分辨率不同且不均匀,因此,必须设定读取的各个模式的经纬度范围:纬度最小值为各个模式纬度中小于3.85°N的最大值,纬度最大值为各个模式纬度中大于53.55°N的最小值;经度最小值为各个模式经度中小于73.55°E的最大值,经度最大值为各个模式的经度中大于135.08°E的最小值,从而确保读取的各个模式范围

表1 IPCC AR5全球气候模式基本信息

Tab.1 General information of the IPCC AR5 global climate models (GCMs)

模式名称	国家	研究机构	空间分辨率(纬向格点数×经向格点数)
BCC	中国	国家气候中心	64×128
BNU	中国	北京师范大学	64×128
CanESM2	加拿大	CCCma	64×128
CCSM4	美国	NCAR	192×288
GISS-E2-R	美国	GISS/NASA	90×144
IPSL-CM5A-LR	法国	IPSL	96×96
MPI-ESM-LR*	德国	MPI	96×192
MRI-CGCM3*	日本	MRI	160×320
NorESM1-M	挪威	NCC	96×144

注:*表示气候模式考虑闰年,平年为365天,闰年为366天;不带

*表示气候模式不考虑闰年,每年均为365天。

包含整个研究区。空间分辨率按照所读取范围的格点数进行记录,纬向记录读取范围内的经度数,即列数;经向记录读取范围内的纬度数,即行数。

2.2 研究方法

本文采用双线性插值方法,首先提取各个气象站相应位置的模式模拟值,同一站点的不同模式的平均值作为多模式集合模拟值,然后将气候模式的模拟值分别与站点实测值进行对比分析。

2.2.1 双线性插值

双线性插值(张超, 2004)是根据最邻近的4个已知数据点,如: (x_1, y_1, z_1) , (x_1, y_2, z_2) , (x_2, y_1, z_3) , (x_2, y_2, z_4) , 通过在 x 和 y 两个方向分别进行一次线性插值,得到 (x, y) 处的 z 值。

$$z \approx \frac{(x_2 - x)(y_2 - y)}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)} z_1 + \frac{(x_2 - x)(y - y_1)}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)} z_2 + \frac{(x - x_1)(y_2 - y)}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)} z_3 + \frac{(x - x_1)(y - y_1)}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)} z_4 \quad (1)$$

2.2.2 逐日多年平均气温

$$T_i = \frac{\sum_{j=1}^N T_{ij}}{N} \quad (2)$$

式中: T_i 为 N 年中第 i 日平均气温, i 值范围为: 1~365 天; T_{ij} 为 j 年第 i 日的气温, 本文中 j 的范围为: 1996-2005 年, N 为 10 年。

2.2.3 精度评估参数

精度评估参数主要包括: 相关系数(r), 偏差($Bias$), 平均绝对误差(MAE), 平均相对误差(MRE), 均方根误差($RMSE$)。

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(M_i - \bar{M})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2}} \quad (3)$$

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^n M_i}{\sum_{i=1}^n O_i} - 1 \quad (4)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |M_i - O_i| \quad (5)$$

$$MRE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{M_i - O_i}{O_i} \right| \quad (6)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_i - O_i)^2}{n}} \quad (7)$$

式中: M_i 是模式模拟值; $O_i (i=1, 2, \dots, n)$ 是站点 i 的观测值; \bar{M} 是模式模拟平均值; \bar{O} 是站点观测平均值。

3 结果与讨论

3.1 IPCC AR5 全球气候模式模拟逐日多年平均气温与站点观测值的相关系数

IPCC AR5 全球气候模式模拟中国地区 1996-2005 年逐日平均气温与气象站点观测值的相关系数都比较大, 并且均通过了 $p < 0.01$ 显著性检验, 相关系数最小值达到 0.86, 空间分布如图 1。相关系数逐渐变大, 模式模拟值与观测值的相关性好。MME、MPI-ESM-LR、MRI-CGCM3 和 NorESM1-M 模式模拟值与站点观测值的相关系数空间分布呈现出从南向北逐渐增大的特征, 且西北部地区的相关系数普遍大于其他模式模拟值与站点观测值的相关系数; 大部分模式东北部地区模拟值与站点观测值的相关系数大于 0.98, 只有 BNU 和 GISS-E2-R 东北部一些地区的相关系数小于 0.98。MME 相关系数大于 0.98 的点数最多, 比例达到 88.0%; 其次是 NorESM1-M 和 CCSM4, 分别占 69.1% 和 68.5%; GISS-E2-R、BNU 和 IPSL-CM5A-LR 最少, 分别占 36.8%、44.8% 和 55.5% (表 2)。MPI-ESM-LR 模拟值与站点观测值的相关系数小于 0.92 的点最多, 比例达到 3.0%, 主要分布在南部边界地区; 其次是 CanESM2 和 BCC, 比例分别为 1.2% 和 0.9% (表 2 和图 1)。MME、BNU 和 MRI-CGCM3 逐日多年平均气温与气象站点观测值相关性都比较好, 相关系数最小值分别达到 0.94、0.93 和 0.92。可见, 9 个模式和 MME 模拟值与气象站点观测值相关性都比较好, 其中, MME 模式模拟值与气象站点观测值相关系数大于 0.98 的点比例最大, 而且相关系数最小值达到 0.94, 因此, MME 模式模拟值与气象站点观测值的相关性最好。

3.2 IPCC AR5 全球气候模式模拟逐日多年的平均气温偏差

IPCC AR5 全球气候模式模拟的中国东南部地区 1996-2005 年逐日平均气温偏差较小, 逐日多年平均气温偏差较大的点主要分布于西北地区 and 东北地区 (图 2)。MPI-ESM-LR 和 GISS-E2-R 模式模拟值偏差介于 -0.5~0.5 之间的点最多, 所占比例都为 82.3%; 其次是 CCSM4 和 MME, 比例分别为

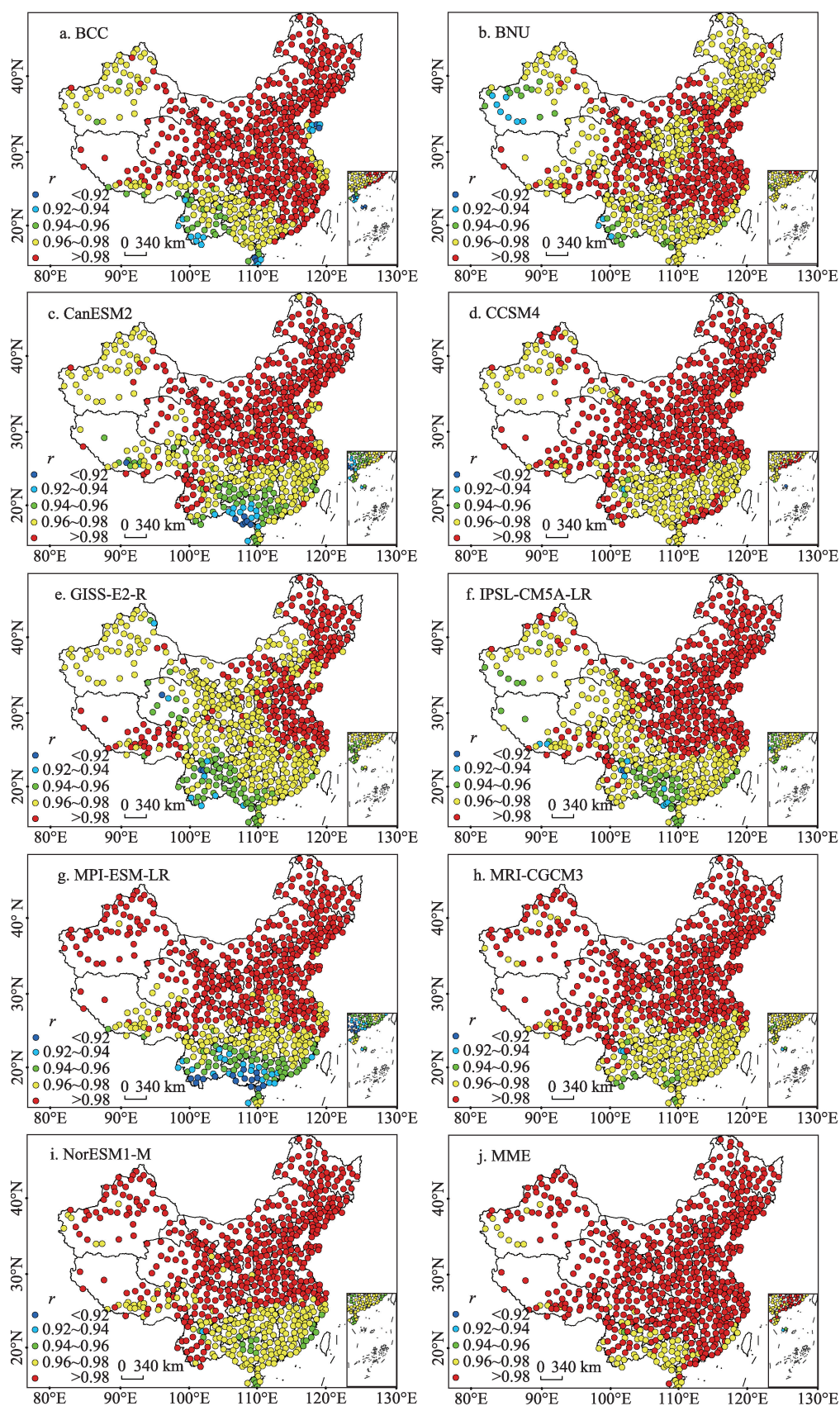


图1 1996-2005年IPCC AR5全球气候模式模拟中国地区逐日平均气温的相关系数

Fig.1 Spatial distribution of the correlation coefficients between average daily temperature simulated by the IPCC AR5 GCMs and station observations in China, 1996-2005

表 2 1996-2005 年 IPCC AR5 全球气候模式模拟逐日平均气温精度的评估结果/%
Tab.2 Precision evaluation results of average daily temperature simulated by
the IPCC AR5 GCMs in China/%, 1996-2005

Models	$r > 0.98$	$r < 0.92$	$ Bias < 0.5$	$ Bias > 1.5$	$MRE < 0.2$	$MRE > 0.6$	$MAE < 2$	$MAE > 4$	$RMSE < 2$	$RMSE > 6$
BCC	67.9	0.9	70.2	6.2	70.9	1.1	24.5	31.4	11.7	16.4
BNU	44.8	0	73.9	5.6	79.4	0.9	31.7	24.5	18.5	12.4
CanESM2	56.4	1.2	77.4	6.2	82.9	1.1	38.8	23.6	14.5	14.2
CCSM4	68.5	0.3	81.7	7.3	82.9	2.9	40.8	19.8	16.5	11.4
MPI-ESM-LR	63.8	3.0	82.3	7.1	82.1	2.9	54.7	16.1	31.2	10.3
MRI-CGCM3	68.2	0	69.2	10.8	78.6	3.5	16.1	28.8	8.0	17.1
NorESM1-M	69.1	0.3	71.4	7.7	76.5	2.3	17.1	30.8	7.4	17.6
GISS-E2-R	36.8	0.5	82.3	7.0	73.8	3.9	33.5	22.4	13.2	14.5
IPSL-CM5A-LR	55.5	0.2	62.1	9.7	74.5	3.6	26.1	36.1	10.5	20.0
MME	88.0	0	78.6	6.4	80.6	1.8	47.9	22.0	37.0	12.0

81.7%和 78.6%；IPSL-CM5A-LR、MRI-CGCM3 和 BCC 所占比例最小，分别为 62.1%、69.2%和 70.2% (表 2)。偏差大于 1.5 或者小于 -1.5 属于偏差较大的点，MRI-CGCM3 比例最大，占 10.8%，其中，偏差小于 -1.5 的点主要分布在西北地区 and 东北地区，偏差大于 1.5 的点主要分布在西北地区 (图 2)；其次是 IPSL-CM5A-LR 和 NorESM1-M，分别占 9.7%和 7.7%；MME、BCC 和 CanESM2 所占比例较小，分别为 6.4%、6.2%和 6.2%；BNU 偏差较大点所占比例最小，为 5.6% (表 2)。可见，MME 不仅在模拟值偏差介于 -0.5~0.5 范围内的点较多，而且在偏差较大范围内的点比例较少，因此，MME 模拟值与气象站点观测值的偏差较小，而 IPSL-CM5A-LR 和 MRI-CGCM3 模拟值与气象站点观测值的偏差较大点比例最多。

3.3 IPCC AR5 全球气候模式模拟逐日多年平均气温平均相对误差

IPCC AR5 全球气候模式模拟的中国西部地区 1996-2005 年逐日平均气温的平均相对误差较大，各个模式平均相对误差最大点的分布特点：BNU 和 BCC 模式主要分布在新疆西南部地区，CanESM2 主要分布在北纬 30°沿线，其他模式主要分布在中国西南地区；东部地区平均相对误差较小，其中，NorESM1-M 模式东南地区以及 GISS-E2-R 和 BCC 模式东北地区的平均相对误差小于 0.1 的点最少，因此，NorESM1-M 模式东南地区以及 GISS-E2-R 和 BCC 模式东北地区平均相对误差最大 (图 3)。CanESM2 和 CCSM4 模拟值平均相对误差小于 0.2 的比例最大，占 82.9%；其次是 MPI-ESM-LR 和

MME，分别占 82.1%和 80.6%；GISS-E2-R 和 BCC 所占比例最小，分别为 73.8%和 70.9% (表 2)。模式模拟值平均相对误差大于 0.6，属于误差较大的点，其中 GISS-E2-R 所占比例最大，达到 3.9%；其次是 IPSL-CM5A-LR 和 MRI-CGCM3，所占比例分别为 3.6%和 3.5%；MME、CanESM2 和 BCC 模拟值的平均相对误差较大的点所占比例较小，分别为 1.8%、1.1%和 1.1%；BNU 所占比例最小，仅仅为 0.9% (表 2)。IPSL-CM5A-LR 和 GISS-E2-R 不仅模拟值的平均相对误差小于 0.2 的点的比例较小，而且平均相对误差大于 0.6 的点的比例也较大，可见，IPSL-CM5A-LR 和 GISS-E2-R 模式模拟值的平均相对误差较大。CanESM2 和 MME 模式不但模拟值的平均相对误差较小的点的比例较大，而且平均相对误差较大的点的比例也较小；因此，CanESM2 和 MME 模式模拟值与站点观测值的平均相对误差较小。

3.4 IPCC AR5 全球气候模式模拟逐日多年平均气温的平均绝对误差

IPCC AR5 全球气候模式模拟的中国 1996-2005 年逐日平均气温的平均绝对误差空间分布均呈现出东部地区普遍低于西部地区的特征 (图 4)，平均绝对误差较大的点主要分布在青藏高原地区，从而导致虽然青藏高原地区的逐日多年平均气温的相关系数较高，但是偏差、平均相对误差以及均方根误差却比较大。MPI-ESM-LR 模式模拟值平均绝对误差小于 2℃的点所占的比例最大 (表 2)，达到 54.7%；其次是 MME 和 CCSM4，分别占 47.9%和 40.8%；BCC、NorESM1-M 和 MRI-CGCM3 占有的

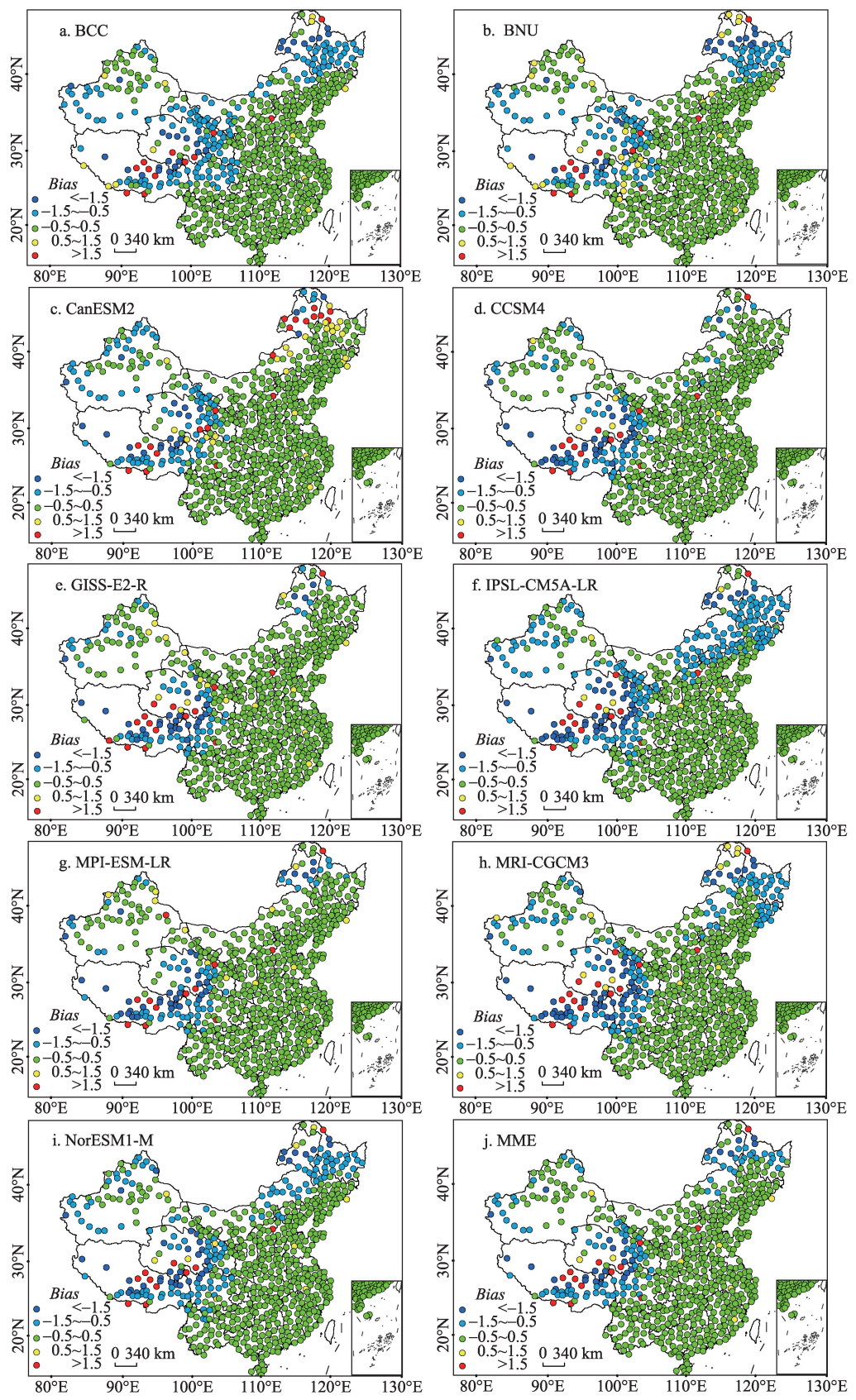


图2 1996-2005年IPCC AR5全球气候模式模拟中国地区逐日平均气温的偏差

Fig.2 Spatial distribution of the bias of average daily temperature simulated by the IPCC AR5 GCMs based on station observations in China, 1996-2005

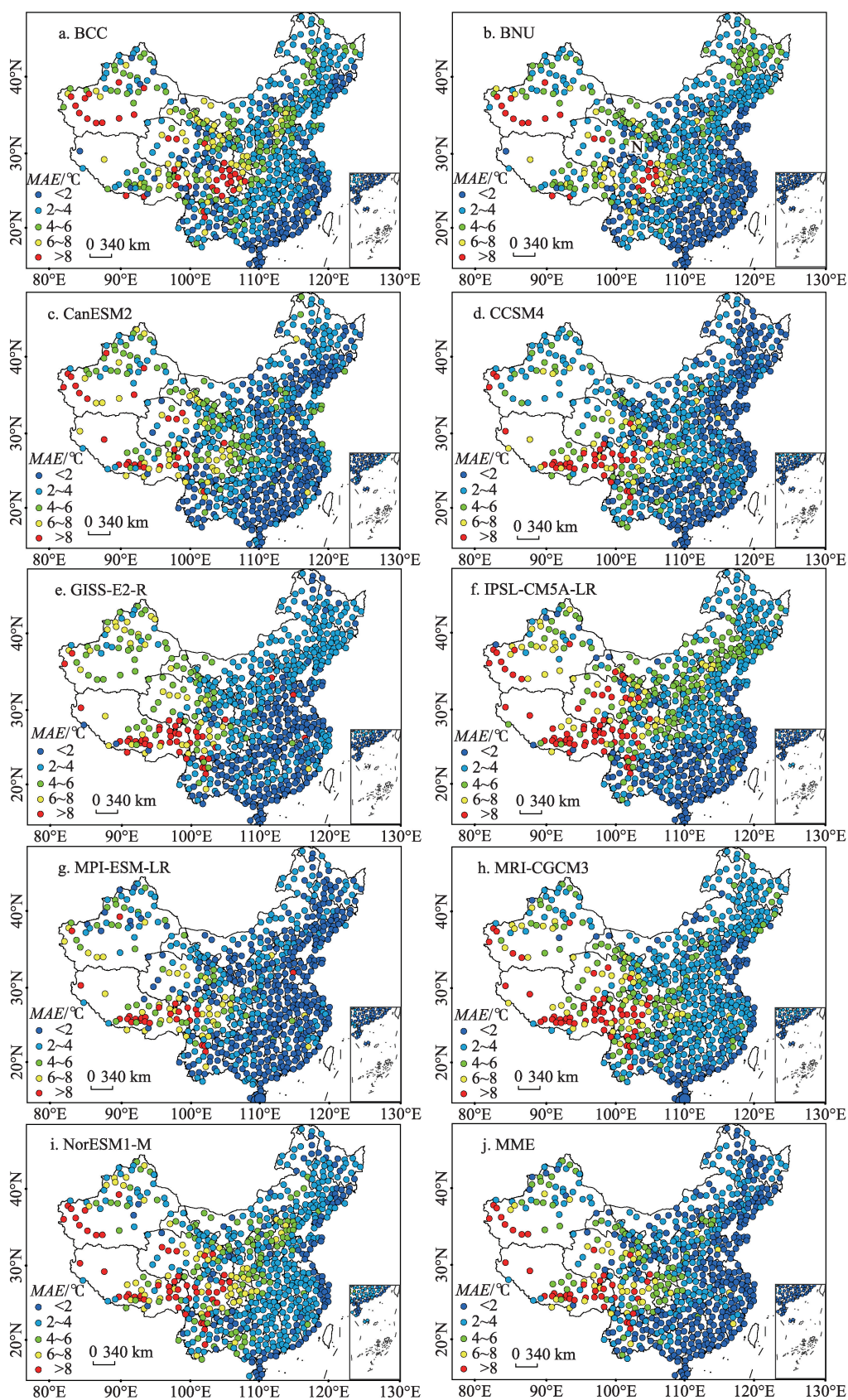


图3 1996-2005年IPCC AR5全球气候模式模拟中国地区逐日平均气温的平均相对误差

Fig.3 Spatial distribution of the mean relative error (MRE) of average daily temperature simulated by the IPCC AR5 GCMs based on station observations in China, 1996-2005

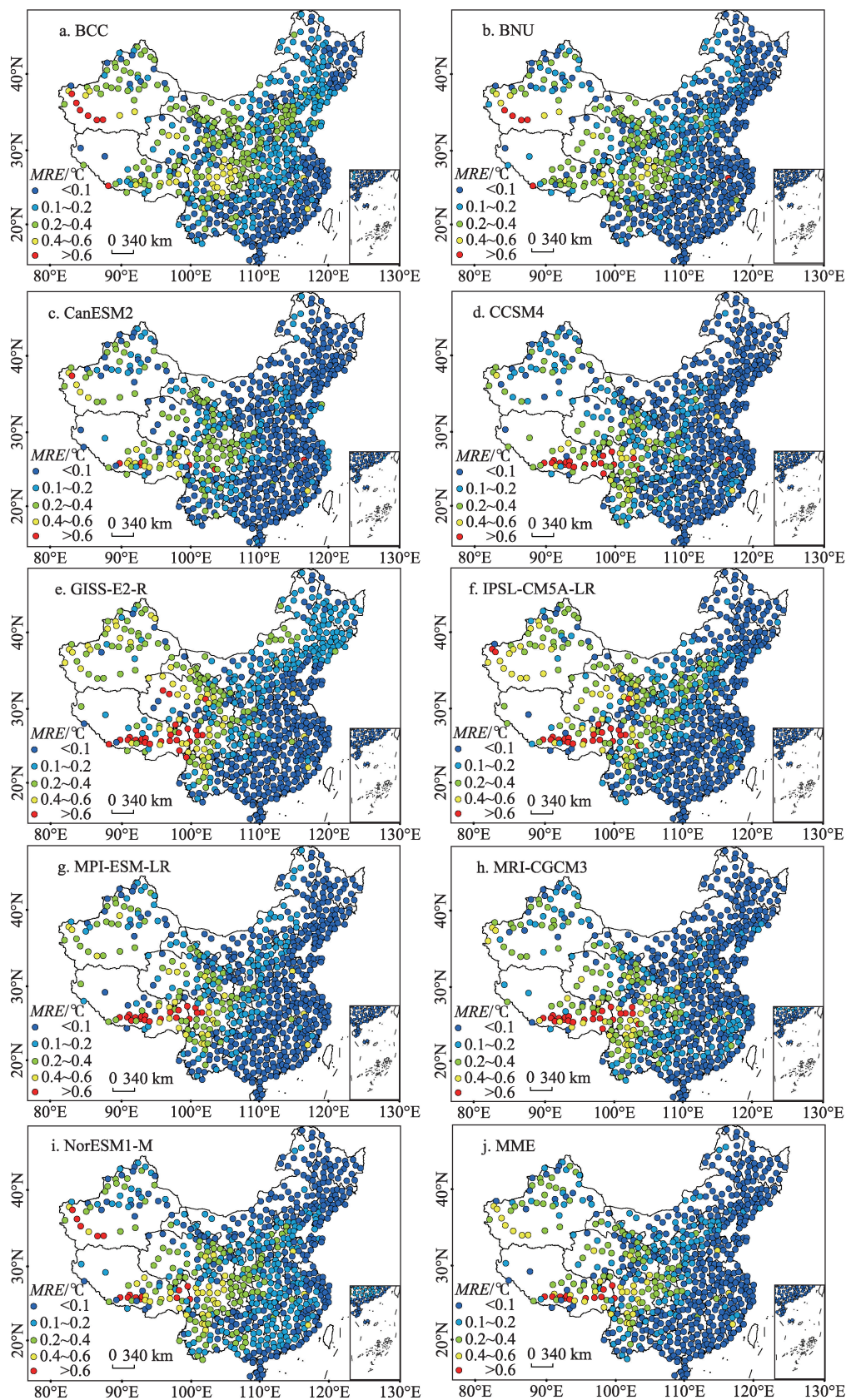


图4 1996-2005年IPCC AR5全球气候模式模拟中国地区逐日平均气温的平均绝对误差

Fig.4 Spatial distribution of the mean absolute error (MAE) of average daily temperature simulated by the IPCC AR5 GCMs based on station observations in China, 1996-2005

比例最小,分别为24.5%、17.1%和16.1%,主要分布在东部沿海地区(表2和图4)。IPSL-CM5A-LR模式模拟值平均绝对误差大于4℃所占的比例最大,达到36.1%,主要分布在中国的北部和西部地区;其次是BCC和NorESM1-M,分别占31.4%和30.8%;MPI-ESM-LR、CCSM4和MME平均绝对误差大于4℃的点最少,仅占16.1%、19.8%和22.4%,主要分布在中国的西南地区(表2和图4)。MPI-ESM-LR、MME和CCSM4模拟值不仅平均绝对误差小于2℃的点最多,且大于4℃的点最少,因此,MPI-ESM-LR、MME和CCSM4模拟值与站点观测值的平均绝对误差较小的比例最大;相反,BCC和NorESM1-M模拟值不仅平均绝对误差小于2℃的点最少,而且大于4℃的点都较多,因此,BCC和NorESM1-M模拟值与站点观测值的平均绝对误差较小的比例最小。

3.5 IPCC AR5全球气候模式模拟逐日多年平均气温的均方根误差

IPCC AR5全球气候模式模拟的中国东南地区1996-2005年逐日平均气温的均方根误差较小,而西部地区均方根误差较大(图5)。MME均方根误差小于2℃的点数最多,所占比例达到37.0%;其次是MPI-ESM-LR和BNU,所占比例分别为31.2%和18.5%,主要分布在中国东部沿海地区,且东南部模拟值均方根误差普遍大于MME;IPSL-CM5A-LR、MRI-CGCM3和NorESM1-M在该范围内的点数最少,仅占有10.5%、8.0%和7.4%,主要分布在东南沿海地区。IPSL-CM5A-LR均方根误差大于6℃的点所占比例最大,达到20%,主要分布在北部和西南地区;IPSL-CM5A-LR和BNU模式模拟的东北部地区的均方根误差较其他模式都大,其次是NorESM1-M和MRI-CGCM3,分别占有17.6%和17.1%;MPI-ESM-LR、CCSM4和MME在该范围内的点较少,仅有10.3%、11.4%和12.0%,主要分布在西南地区(表2和图5)。IPSL-CM5A-LR、NorESM1-M和MRI-CGCM3在均方根误差小于2℃的范围内的点较少,而在大于6℃的范围内的点数较多,因此,IPSL-CM5A-LR、NorESM1-M和MRI-CGCM3模拟值的均方根误差较大。相反,MME和MPI-ESM-LR模拟值均方根误差不仅小于2℃的点最多,而且大于6℃的点最少,因此,MME和MPI-ESM-LR模式模拟值与站点观测值的均方根误差较小。

4 结论

本文利用全国660个站点1996-2005年逐日地面温度观测资料,对CMIP5提供的9个新一代全球模式和平均集合模式的逐日多年平均气温模拟结果的精度进行评价,主要结论包括:

(1) 9个IPCC AR5全球气候模式和MME模拟的中国地区1996-2005年逐日平均气温与气象站点观测值的相关性都比较好,相关系数均大于0.86,其中,MME模式模拟值与气象站点观测值相关系数大于0.98的点比例最大,而且相关系数最小值达到0.94,因此,MME模式模拟值与气象站点观测值的相关性最好。

(2) IPCC AR5全球气候模式模拟的中国东南部地区1996-2005年逐日平均气温偏差较小,逐日多年平均气温偏差较大的点主要分布于西北地区和东北地区。MME模拟值与气象站点观测值的偏差较小,而IPSL-CM5A-LR和MRI-CGCM3模拟值与气象站点观测值的偏差较大。

(3) IPCC AR5全球气候模式模拟的中国东部地区1996-2005年逐日平均气温的平均相对误差较小,西部地区平均相对误差较大。CanESM2和MME模式模拟值与站点观测值的平均相对误差较小,IPSL-CM5A-LR和GISS-E2-R模式模拟值的平均相对误差较大。

(4) IPCC AR5全球气候模式模拟的中国地区1996-2005年逐日平均气温平均绝对误差空间分布均呈现出东部地区普遍低于西部地区的特征。MPI-ESM-LR、MME和CCSM4模拟值与站点观测值的平均绝对误差较小的比例最大,BCC和NorESM1-M模拟值与站点观测值的平均绝对误差较小的比例最小。

(5) IPCC AR5全球气候模式模拟的中国东南地区1996-2005年逐日平均气温均方根误差较小,而西部地区均方根误差较大。IPSL-CM5A-LR、NorESM1-M和MRI-CGCM3模拟值的均方根误差较大,MME和MPI-ESM-LR模式模拟值与站点观测值的均方根误差较小。

(6) IPSL-CM5A-LR、MRI-CGCM3、NorESM1-M模拟精度较低。其中,IPSL-CM5A-LR模拟值的偏差、平均相对误差和均方根误差均较大,MRI-CGCM3模式模拟值的偏差和均方根误差较大,

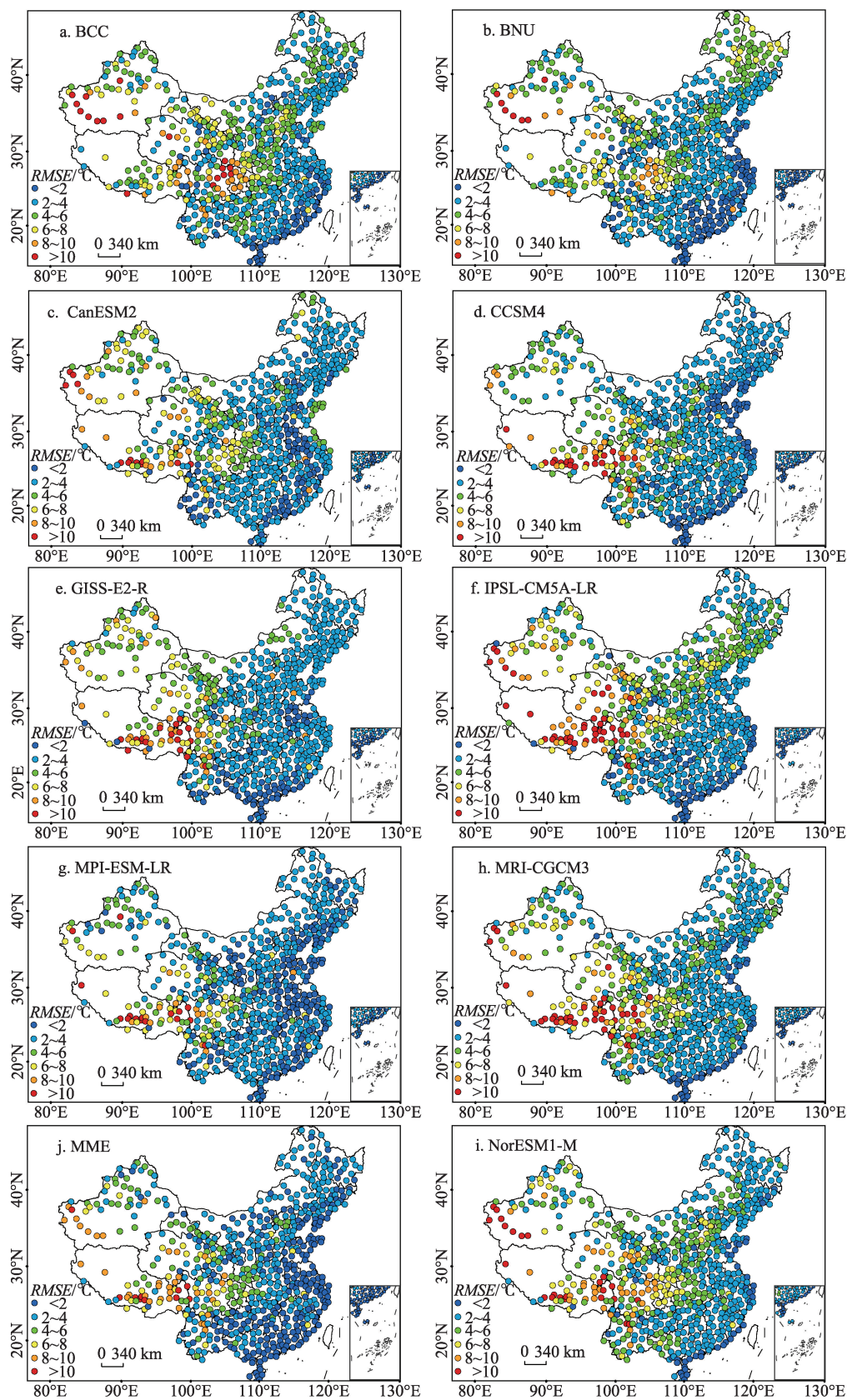


图5 1996-2005年IPCC AR5全球气候模式模拟中国地区逐日平均气温的均方根误差

Fig.5 Spatial distribution of the root mean square error (*RMSE*) of average annual temperature simulated by the IPCC AR5 GCMs based on station observations in China, 1996-2005

NorESM1-M 平均绝对误差和均方根误差较大。

(7) 综合考虑模式模拟值与站点观测值的相关系数、偏差、平均相对误差、平均绝对误差和均方根误差, MME 在中国的温度模拟精度优于大部分单个模式, 在研究气候变化相关课题时, 选择 MME 模拟结果作为气候变化背景条件更为科学合理。

参考文献(References)

- 巢清尘, 周波涛, 孙颖, 等. 2014. IPCC 气候变化自然科学认知的发展[J]. 气候变化研究进展, 10(1): 7-13. [Chao Q C, Zhou B T, Sun Y, et al. 2014. The cognition development of the climate change physical sciences on IPCC[J]. Progressus Inquisitiones de Mutatione Climatis, 10(1): 7-13.]
- 冯靖. 2012. 多全球模式对中国区域气候的模拟评估和预估[D]. 南京: 南京信息工程大学. [Feng J. 2012. Simulation and projection for regional climate in China by multiple global climate models[D]. Nanjing, China: Nanjing University of Information Science & Technology.]
- 郭彦, 董文杰, 任福民, 等. 2013. CMIP5 模式对中国年平均气温模拟及其与 CMIP3 模式的比较[J]. 气候变化研究进展, 9(3): 81-186. [Guo Y, Dong W J, Ren F M, et al. 2013. Assessment of CMIP5 simulations for China annual average surface temperature and its comparison with CMIP3 simulations[J]. Progressus Inquisitiones de Mutatione Climatis, 9(3): 181-186.]
- 黄传江, 乔方利, 宋亚娟, 等. 2014. CMIP5 模式对南海 SST 的模拟和预估[J]. 海洋学报, 36(1): 38-47. [Huang C J, Qiao F L, Song Y J, et al. 2014. The simulation and forecast of SST in the south China sea by CMIP5 models[J]. Acta Oceanologica Sinica, 36 (1): 38-47.]
- 胡亚南, 刘颖杰. 2013. 2011-2050 年 RCP4.5 新情景下东北春玉米种植布局及生产评估[J]. 中国农业科学, 46(15): 3105-3114. [Hu Y N, Liu Y J. 2013. Planting distribution of spring maize and its productivity under RCP4.5 scenario in Northeast China in 2011-2050[J]. Scientia Agricultura Sinica, 46(15): 3105-3114.]
- 姜会飞. 2008. 农业气象学[M]. 北京: 科学出版社. [Jiang H F. 2008. Nongye qixiangxue[M]. Beijing, China: Science Press.]
- 金之庆, 方娟, 葛道阔, 等. 1994. 全球气候变化影响我国冬小麦生产之前瞻[J]. 作物学报, 20(2): 186-196. [Jin Z Q, Fang J, Ge D K, et al. 1994. Prospect to the impacts of climate change on winter wheat production in China[J]. Acta Agronomica Sinica, 20(2): 186-196.]
- 李振朝, 韦志刚, 吕世华, 等. 2013. CMIP5 部分气候模式气温和降水模拟结果在北半球及青藏高原的检验[J]. 高原气象, 32(4): 921-928. [Li Z C, Wei Z G, Lv S H, et al. 2013. Verifications of surface air temperature and precipitation from CMIP5 model in northern hemisphere and Qinghai-Xizang Plateau[J]. Plateau Meteorology, 32(4): 921-928.]
- 刘敏, 江志红. 2009. 13 个 IPCC AR4 模式对中国区域近 40 a 气候模拟能力的评估[J]. 南京气象学院学报, 32(2): 256-268. [Liu M, Jiang Z H. 2009. Simulation ability evaluation of surface temperature and precipitation by thirteen IPCC AR4 coupled climate models in China during 1961-2000[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 32(2): 256-268.]
- 秦大河, Stocker T, 259 名作者和 TSU(驻伯尔尼和北京). 2014. IPCC 第五次评估报告第一工作组报告的亮点结论[J]. 气候变化研究进展, 10(1): 1-6. [Qin D H, Stocker T, 259 Authors and TSU(Bern & Beijing). 2014. Highlights of the IPCC working group I Fifth Assessment Report[J]. Progressus Inquisitiones de Mutatione Climatis, 10(1): 1-6.]
- 沈永平, 王国亚. 2013. IPCC 第一工作组第五次评估报告对全球气候变化认知的最新科学要点[J]. 冰川冻土, 35(5): 1068-1076. [Shen Y P, Wang G Y. 2013. Key findings and assessment results of IPCC WGI Fifth Assessment Report[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 35(5): 1068-1076.]
- 王绍武, 罗勇, 赵宗慈, 等. 2013. IPCC 第 5 次评估报告问世[J]. 气候变化研究进展. 9(6): 436-439. [Wang S W, Lou Y, Zhao Z C, et al. 2013. The Fifth IPCC Assessment Report hits the streets[J]. Progressus Inquisitiones de Mutatione Climatis, 9(6): 436-439.]
- 王淑瑜, 熊喆. 2004. 5 个海气耦合模式模拟东亚区域气候能力的初步分析[J]. 气候与环境研究, 9(2): 240-250. [Wang S Y, Xiong Z. 2004. The preliminary analysis of 5 coupled ocean-atmosphere global climate models simulation of regional climate in Asia[J]. Climatic and Environmental Research, 9(2): 240-250.]
- 许崇海, 沈新勇, 徐影. 2007. IPCC AR4 模式对东亚地区气候模拟能力的分析[J]. 气候变化研究进展, 3(5): 287-292. [Xu C H, Shen X Y, Xu Y. 2007. An analysis of climate change in east Asia by using the IPCC AR4 simulations[J]. Advances in Climate Change Research, 3(5): 287-292.]
- 杨绉, 汤绪, 陈葆德, 等. 2014. 利用 CMIP5 多模式集合模拟气候变化对中国小麦产量的影响[J]. 中国农业科学, 47(15): 3009-3024. [Yang X, Tang X, Chen B D, et al. 2014. Impacts of climate change on wheat yield in China simulated by CMIP5 Multi-Model Ensemble projections[J]. Scientia Agricultura Sinica, 47(15): 3009-3024.]
- 姚遥, 罗勇, 黄建斌. 2012. 8 个 CMIP5 模式对中国极端气温的模拟和预估[J]. 气候变化研究进展, 8(4): 250-256. [Yao Y, Luo Y, Huang J B. 2012. Evaluation and projection of temperature extremes over China based on 8 mod-

- eling data from CMIP5[J]. *Progressus Inquisitiones de Mutatione Climatis*, 8(4): 250-256.]
- 张超. 2004. 地理信息系统实习教程[M]. 北京: 高等教育出版社. [Zhang C. 2004. *Dili xinxi xitong shixi jiaocheng* [M]. Beijing, China: Higher Education Press.]
- 中国农林作物气候区划协作组. 1987. 中国农林作物气候区划[M]. 北京: 气象出版社. [Chinese Collaboration of Climatic Divisions of Main Agricultural and Forest Crops. 1987. *Zhongguo nonglin zuowu qihou quhua* [M]. Beijing, China: China Meteorological Press.]
- 中国农业科学院. 1999. 中国农业气象[M]. 北京: 中国农业出版社. [Chinese Academy of Agricultural Science. 1999. *Zhongguo nongye qixiang* [M]. Beijing, China: Chinese Agricultural Press.]
- 赵宗慈, 丁一汇, 李晓东, 等. 1995. 海气耦合模式在东亚地区的可靠性评估[J]. *应用气象学报*, 6(S1): 9-18. [Zhao Z C, Ding Y H, Li X D, et al. 1995. Evaluation of CGCM climate simulation in East Asia region[J]. *Quarterly Journal of Applied Meteorology*, 6(S1): 9-18.]
- 赵宗慈. 1990. 全球环流模式在中国部分模拟效果评估[J]. *气象*, 16(9): 13-17. [Zhao Z C. 1990. Assessment on validation of general circulation models (GCMs) in China[J]. *Meteorological Monthly*, 16(9): 13-17.]
- Challinor A J, Wheeler T, Hemming D, et al. 2009. Ensemble yield simulations: crop and climate uncertainties, sensitivity to temperature and genotypic adaptation to climate change[J]. *Climate Research*, 38(2): 117-127.
- Fowler H J, Blenkinsop S, Tebaldi C. 2007. Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modelling[J]. *International Journal of Climatology*, 27(12): 1547-1578.
- IPCC. 2007. *Climate change 2007: the physical science basis* [R]. New York, NY: Cambridge University Press.
- IPCC. 2013. *Climate Change 2013: the physical science basis* [R]. Work Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report (AR5). Stockholm, Sweden: IPCC.
- Jacob D J, Winner D A. 2009. Effect of climate change on air quality[J]. *Atmospheric Environment*, 43(1): 51-63.
- Parry M L, Rosenzweig C, Iglesias A, et al. 2004. Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios[J]. *Global Environmental Change*, 14(1): 53-67.
- Verburg P H, Soepboer W, Veldkamp A, et al. 2002. Modeling the spatial dynamics of regional land use: the CLUE-S model[J]. *Environmental Management*, 30(3): 391-405.
- Zhou T J, Yu R C. 2006. Twentieth-century surface air temperature over China and the globe simulated by coupled climate models[J]. *Journal of Climate*, 19(22): 5843-5858.

Assesment on precision of temperature simulated by the IPCC AR5 GCMs in China, 1996–2005

SUN Zhen^{1,2}, JIA Shaofeng^{1*}, LV Aifeng¹, ZHU Wenbin^{1,2}, GAO Yanchun¹

(1. Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: This article evaluates the precision of the temperature simulated by nine IPCC AR5 (the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change) GCMs (Global Climate Models) and the multi-model ensemble (MME), based on the observed temperature of 660 stations in China from 1996 to 2005. The results show that the correlation coefficients between the average daily temperature simulated by GCMs and station observations in China during 1996-2005 were very high, all above 0.86. The precision of the simulated average daily temperature in the southeast by the 10 models was higher than that in the west, judged by the lower Biases, mean relative errors (MREs), mean absolute errors (MAEs), and root mean square errors (RMSEs) in the southeast as compared to those in the west. The precision of the simulated temperature by IPSL-CM5A-LR, MRI-CGCM3, and NorESM1-M was poorer than that of the others—specially, the Biases, MREs, and RMSEs of the simulation result by IPSL-CM5A-LR, the Biases and RMSEs of the simulation result by MRI-CGCM3, and MREs and RMSEs of the simulation result by NorESM1-M, were larger. Taken into account the Biases, MREs, MAEs, and RMSEs, the simulation precision of MME was the highest.

Key words: IPCC AR5; Global Climate Models; temperature; precision; daily scale